

SISTEMAS DE MONITORIZAÇÃO INTEGRADOS APLICADOS A QUEBRAMARES: O CASO DO PORTO DO FUNCHAL

Integrated Monitoring Systems Applied to Breakwaters: The Case of the Port of Funchal

MÁRIO PEREIRA⁽¹⁾, ANA CLÁUDIA TEODORO⁽²⁾ e FERNANDO VELOSO-GOMES⁽³⁾

⁽¹⁾ Mestre em Engenharia Geográfica, DGAOT - FCUP,
Rua do Campo Alegre, s/n, 4169-007 Porto, mariopereira.sra@gov-madeira.pt

⁽²⁾ Doutora em Engenharia Geográfica, DGAOT - FCUP,
Rua do Campo Alegre, s/n, 4169-007 Porto, amteodor@fc.up.pt

⁽³⁾ Professor Catedrático, IHRH - FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, vgomes@fe.up.pt

Resumo

Os quebramares são estruturas portuárias que estão sujeitas a ações externas que as debilitam e as alteram durante a sua vida útil. É expectável ou mesmo natural que sofra trabalhos de manutenção decorrentes de necessidades evidenciadas, bem como alterações físicas necessárias resultantes de ajustes logísticos inerentes às suas atividades. Torna-se fundamental monitorizar a sua evolução de modo a programar temporalmente trabalhos de correção e manutenção, antecipando e minimizando riscos e prejuízos. Ações como as marés, agitação marítima, dinâmica de sedimentos, vento, atividades portuárias como a atracação de navios, constituem um leque alargado de ações hipoteticamente responsáveis por instabilidades em quebramares, bem como nos seus elementos de proteção envolventes (tetrápodes). O presente trabalho tem como finalidade identificar instabilidades no quebramar através da monitorização da sua evolução posicional, procurando posteriormente relacioná-las com os diferentes fatores acompanhados ao longo do estudo.

Palavras-chave: Infraestruturas portuárias, redes de controlo, GPS, topografia, movimentos.

Abstract

Breakwaters are port infrastructures that are subject to external actions during his lifetime. It is expected that the breakwater need some maintenance works because of the highlighted problems and readjustments. It is fundamental monitoring its evolution through programming regular works, in order to minimize risks and losses.

Phenomenon like tides, sea waves, sediments dynamics, wind, port activities, are a set of factors hypothetically responsible for the instabilities founded.

The main goal of the present work is to identify the breakwater instabilities and relate them with the responsible actions studied during the monitoring program.

Keywords: Port infrastructures, monitoring networks, GPS, topography, movements.

1. Introdução

As infraestruturas criadas e utilizadas pelo homem estão sujeitas a modificações constantes intrínsecas à sua conceção e decorrentes do meio que as rodeiam. Essas alterações ocorrem logo após o instante da sua conclusão, bem como pelo uso inerente à sua utilização.

Fenómenos como os ventos, tempestades, intensidade solar, sismos e atividades próprias, são alguns dos exemplos de fenómenos responsáveis pela degradação de todos os tipos de infraestruturas.

As infraestruturas portuárias são um exemplo evidente do tipo de infraestruturas que requerem atenção especial e redobrada, pois estas estão sujeitas a severas condições climáticas, principalmente devidas ao seu meio envolvente, o mar.

São diversas as infraestruturas portuárias, mas o quebramar é aquela que pelas suas características e intuito carece de mais atenção devido à sua maior exposição aos fenómenos externos. Fenómenos como a agitação marítima, as marés, a erosão e a infraescavação pela dinâmica própria dos sedimentos, os movimentos neotectónicos e a atracação de navios são alguns dos principais fatores responsáveis pelas instabilidades encontradas ao longo da vida útil de um quebramar. Esses fatores atuam sobre a infraestrutura de modo individual ou em conjunto, provocando alterações na sua génese, e implicando riscos na sua sustentabilidade.

Considerando de extrema pertinência salvaguardar a sustentabilidade dessas infraestruturas, torna-se essencial a sua monitorização e controlo.

O quebramar do Porto do Funchal em resultado de obras de requalificação e aumento da sua extensão, ocorridos nos anos 80 do século passado, resultantes da resposta necessária à sua evolução natural e preponderância nas rotas comerciais, tomou a configuração e cariz dimensional que tem atualmente. Hoje em dia o Porto do Funchal converteu-se em exclusividade à atividade turística de receção de navios de cruzeiro.

Na Figura 1 são apresentadas algumas das fissuras encontradas na estrutura numa das visitas efetuadas ao local. Vários trabalhos de monitorização de infraestruturas portuárias foram já desenvolvidos ao longo dos últimos anos. Inspeções vídeo subaquáticas, estudos usando dados de deteção remota, topografia clássica e sistemas globais de posicionamento e navegação por satélite (GNSS) são alguns dos exemplos de técnicas já utilizadas (Pilarczyk e Zeidler, 1996).

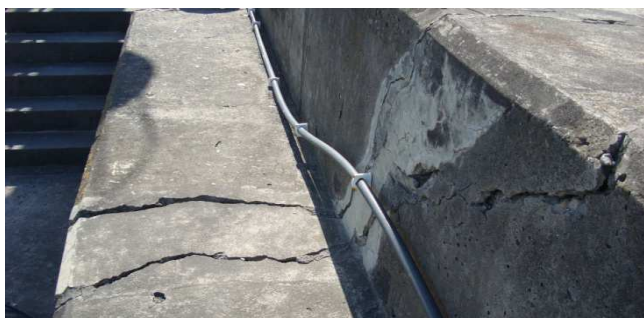


Figura 1. Fissuras evidenciadas no corpo do quebramar do Porto do Funchal.

Trabalhos mais recentes usando GNSS para monitorização de infraestruturas portuárias foram usados em modo contínuo com recetores de uma frequência e utilizando várias estações de referência (mínimo duas), e linhas de base inferiores a 5 km (Del Grosso *et al.*, 2007).

O presente trabalho apoia-se em sistemas de posicionamento e navegação por satélite GNSS e técnicas clássicas de topografia para estudar o comportamento do quebramar do Porto do Funchal.

2. Redes e Sistemas de Monitorização

Com o propósito final de compreender a dinâmica, estado e pontos críticos existentes no quebramar do Porto do Funchal e a sua evolução temporal, foram definidas metodologias e sistemas de monitorização direcionados para cada uma das especificidades do quebramar.

Foram definidos três tipos de sistemas de monitorização que individualmente e/ou em conjunto dão indicação do comportamento do quebramar quanto à sua estabilidade e evolução temporal, bem como a informação sobre os impactos que as atividades desenvolvidas e o meio envolvente têm sobre si, possibilitando a quantificação das suas alterações morfológicas.

Os três sistemas de monitorização procuram analisar todas as vertentes que possam influenciar e dar indicação do seu estado e taxa de evolução, dividindo-se em estabilidade absoluta do quebramar, impacto da atracação dos navios de cruzeiro e impacto da massa oceânica diretamente sob os tetrápodes de proteção do quebramar.

O controlo da estabilidade absoluta do quebramar servirá para verificar se o quebramar está a sofrer uma variação posicional ao longo do estudo, e em caso afirmativo quantificar essa evolução.

O controlo da atracação de navios de cruzeiro será útil para perceber se o quebramar está preparado para receber os navios de cruzeiro cujo aumento da dimensão, tonelagem e capacidade se tem vindo a verificar.

O controlo dos macro movimentos dos tetrápodes fornecerá informação sobre as zonas de impacto que sofrem mais o efeito das ações marítimas (ondulação e agitação marítima, marés e dinâmica dos sedimentos) e consequentemente relacioná-las com as instabilidades já encontradas no quebramar, identificando aquelas que terão mais probabilidade de evolução.

2.1. Controlo da estabilidade absoluta do quebramar

Para estudar a estabilidade absoluta do quebramar, foi constituída uma rede de 12 pontos de controlo estrategicamente distribuídos pelos locais evidenciados como sendo os mais críticos, como se encontra demonstrado na Figura 2. Os pontos de controlo foram identificados sequencialmente entre o MC01 e o MC12.



Figura 2. Distribuição espacial dos pontos de controlo pertencentes à rede de monitorização da estabilidade absoluta do quebramar.

Os 12 pontos da rede distribuem-se ao longo de cerca de 375 m, mas uma vez que é na cabeça do quebramar onde se verificam as maiores instabilidades, é nos últimos 60 m onde se encontram 9 dos 12 pontos de controlo.

O sistema de monitorização é realizado através de técnicas espaciais de posicionamento e navegação por satélites, em pós-processamento.

Os pontos de controlo foram materializados recorrendo a marcas físicas construídas especificamente para o controlo, em aço inox de 2 kg, centragem forçada e rosca de 5/8", de modo a garantir que o ponto de controlo não sofria variações posicionais entre diferentes épocas de controlo (Figura 3).



Figura 3. Marcas físicas utilizadas na materialização dos pontos de controlo pertencentes às redes de monitorização, controlo de estabilidade absoluta do quebramar e atracação.

2.2. Controlo da atracação de navios de cruzeiro

Para estudar o impacto que os navios de cruzeiro têm sobre o quebramar do Porto do Funchal, definiu-se uma rede composta por três pontos de controlo. Esses pontos de controlo são os pontos MC09, MC10 e MC11 da rede constituída para o controlo da estabilidade absoluta do quebramar. Para cada época de controlo da atracação de navios de cruzeiro são utilizados dois desses pontos de controlo, escolhidos de acordo com o comprimento do navio de cruzeiro a atracar e os pontos de atracação.

O controlo foi executado recorrendo igualmente a técnicas de posicionamento e navegação por satélite.

2.3. Controlo dos macro movimentos dos tetrápodes

A rede constituída para o controlo dos macro movimentos dos tetrápodes foi subdividida em três subconjuntos compreendidos entre os pontos de controlo MC08 e o ponto de controlo MC12 (Figura 4).



Figura 4. Subconjuntos de tetrápodes.

Os subconjuntos foram escolhidos de modo a possibilitar a análise ao longo das zonas do quebramar mais expostas, com vista a associá-las às instabilidades. Estão igualmente localizados perpendicularmente aos pontos de controlo MC08 e MC09, MC10 e MC12.

Foram monitorizados no total 56 tetrápodes com tinta adequada ao meio envolvente e visível a longas distâncias.

O controlo foi realizado recorrendo a técnicas clássicas de topografia.

3. Posicionamento Diferencial GNSS

Os sistemas de posicionamento e navegação por satélite GNSS têm vindo a ser recentemente utilizados nas mais diversas atividades, generalizando a sua utilização, que vai desde a simples navegação, às ciências da representação da superfície terrestre, passando por todas as atividades que necessitam da informação recorrente do geoposicionamento.

Sistemas de posicionamento e navegação por satélites GPS e GLONASS, os mais conhecidos, juntamente com o GALILEO (em fase de implementação), e COMPASS, bem como segmentos de otimização, como o WAAS e EGNOS, entre outros, são sistemas baseados na obtenção de informação posicional geográfica através de constelações de satélites artificiais.

Todos eles se baseiam na recolha de informação emitida por esses satélites artificiais processando essa informação em algoritmos específicos, obtendo a informação posicional para cada instante.

Os sistemas caracterizam-se por proporcionar essa informação em qualquer parte da superfície terrestre sob qualquer condição atmosférica ininterruptamente 24 horas por dia, 7 dias da semana.

No entanto, essa informação geográfica que é obtida diretamente nos recetores GNSS é adquirida em modo absoluto, isto é, a informação posicional que é obtida para cada instante de observação é influenciada de um erro significativo. Erros como o atraso provocado pela atmosfera (ionosfera e troposfera) na propagação do sinal quando este a atravessa, os erros dos relógios dos satélites e recetores, as órbitas dos satélites e sua distribuição espacial, o multicaminho, o ruído electrostático, são alguns dos aspetos responsáveis pela introdução desses erros, podendo as posições ser calculadas com precisões relativas de alguns decímetros até várias dezenas de metros, dependendo do tipo de recetor utilizado, número de satélites recebidos, tempo de observação, metodologias de observação, entre outros.

Para se obterem posições relativas com precisão superiores, precisões sub-centimétricas, é necessário recorrer a metodologias de correção específicas, ou seja, ao posicionamento relativo.

O posicionamento relativo caracteriza-se pela utilização de um recetor ou mais como referência e outro recetor como móvel a operar em simultâneo, sendo que o recetor de referência está estacionado num ponto de coordenadas bem conhecidas (Figura 5).

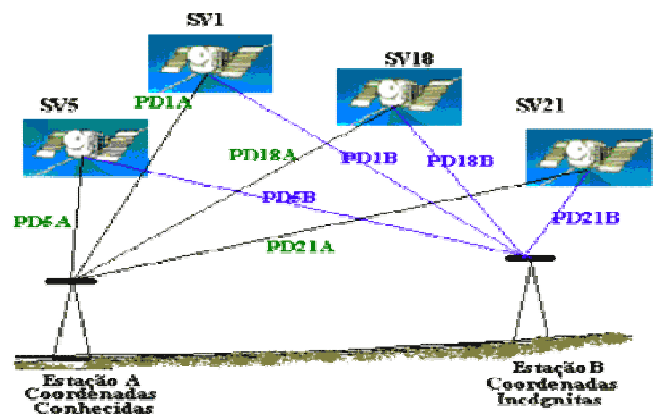


Figura 5. Posicionamento relativo - esquema exemplificativo.

Ambos os recetores deverão, na medida do possível, estar numa área relativamente próxima, de modo a garantir que os satélites observados em cada um dos pontos de observação são comuns, bem como a garantia dos erros comuns provocados pela atmosfera, aliado à propagação dos erros provenientes da distância de referência móvel.

As estações tomadas como referência poderão ser permanentes, caso das denominadas CORS (Continuously Operating Reference Station) ou temporais, caso dos vértices geodésicos.

Em ambas as circunstâncias, o recetor usado como referência calcula as correções às pseudo-distâncias pela comparação direta entre o resultado que deveria obter e a que obtém para a época de observação, enviando-as para o recetor móvel em tempo real.

A pseudo-distância define-se como a distância entre o satélite e o recetor, calculada a partir do desfasamento do código emitido pelo satélite e o gerado pelo recetor no intervalo de tempo existente entre o envio e a receção do sinal.

Se a metodologia e as necessidades específicas do trabalho assim o exigirem, as correções a efetuar às medidas do recetor móvel são realizadas a partir da combinação das medidas de ambos os recetores pelas diferenças simples, duplas e triplas em pós-processamento.

Assim, a obtenção de posições relativas de alta precisão são obtidas através do posicionamento relativo em pós-processamento ou em tempo-real de acordo com as metodologias e finalidades do trabalho.

4. Metodologia e Recolha de Dados

Para cada tipo de controlo a desenvolver, indicados na secção 2, é necessário definir o tipo de metodologia a adotar, direcionado para os resultados que se procuram.

Como cada tipo de controlo tem características próprias e a sua metodologia de quantificação diferente, é necessário ter em conta o tipo de resultado que se procura estimar (diferentes tipos de controlo e diferentes precisões associadas), levando a métodos de abordagem específicos.

4.1. Controlo de estabilidade absoluta do quebramar

O Controlo de estabilidade absoluta do quebramar, à semelhança do que já foi referido anteriormente, procura avaliar a evolução estática do quebramar, caracterizando a sua evolução. Essa evolução poderá ser dinâmica ou estática, isto é, o quebramar poderá estar a ter variações posicionais absolutas ao longo do tempo do estudo, ou a sua evolução ser de tal modo “mínima”, que não seja quantificável. Ou seja, é necessário definir um padrão mínimo em que no período do estudo essas variações são consideradas instabilidades ou não, adequando a metodologia à finalidade que se procura.

Para o controlo de estabilidade absoluta do quebramar definiu-se que variações superiores a 7,5mm teriam de ser considerada instabilidades para o período de caracterização e tipo de infraestrutura consideradas.

Tendo em consideração os pressupostos anteriores, realizou-se uma campanha GNSS de teste onde se procurou garantir que um controlo usando recetores de dupla frequência, em pós-processamento, usando somente uma estação de referência muito próxima e através de campanhas não contínuas, é possível cumprir os requisitos mínimos para satisfazer as necessidades do controlo.

Verificou-se igualmente as configurações necessárias para o controlo específico em questão, nomeadamente a máscara de elevação dos satélites, cadência e período de observação.

A campanha de teste realizou-se ao longo de três períodos distintos espaçados no tempo, num total de 172 horas.

Os ficheiros de observação foram divididos em ficheiros de uma hora, possibilitando combinações múltiplas aleatórias de blocos de 1, 2, 4, 6, 12 e 24 horas. Para cada bloco foram constituídas 12 combinações, num total de 72 soluções.

A solução final para cada bloco foi obtida a partir da média simples de cada solução particular, bem como o seu desvio padrão.

Os softwares de processamento utilizados para o cálculo foram o LEICA GEO OFFICE e o software científico GAMIT-TRACK.

O Quadro 1 apresenta as diferenças máximas e os desvios padrão para os blocos horários.

Tendo em consideração os resultados obtidos e apresentados no Quadro 1, o período de observação que demonstrou ser o mais adequado para o estudo em questão foi o período de 2 horas.

Assim, para um período de observação de 2 horas e em condições típicas, podemos garantir com um grau de confiança de 99% que diferenças superiores a 7,5mm (majoração do triplo do desvio padrão) são instabilidades no ponto de controlo.

Apesar do quebramar ser considerado como um todo, devido às suas características é possível dividi-lo pelos pontos de controlo, considerando-os como pontos simples e “independentes”.

Utilizando igualmente a campanha de teste e analisando os resultados obtidos, definiu-se como configuração mais adequada para o tipo de controlo desejado uma máscara de elevação dos satélites de 10°, uma cadência de observação de 1 s, utilização de órbitas precisas, modelos troposféricos e ionosféricos Hopfield e Computed, respetivamente, e um sistema de posicionamento e navegação por satélite GPS para períodos de observação de 2 horas.

4.2. Controlo da atracação de navios de cruzeiro

O controlo da atracação de navios de cruzeiro é realizado usando o sistema de posicionamento e navegação por satélite GPS.

Utiliza as mesmas configurações do controlo de estabilidade absoluta do quebramar, diferindo somente no tempo de observação.

O tempo de observação para este tipo de controlo é variável, sendo definido pelo período em que o navio de cruzeiro se encontra atracado no porto.

A este tempo de observação acresce ainda uma hora antes do navio de cruzeiro atracar e uma hora após o navio de cruzeiro partir.

Os dados recolhidos são processados no software de processamento de dados GAMIT-TRACK, gerando soluções que são tratadas a posteriori numa rotina MATLAB criada especificamente para o efeito.

Essa rotina analisa a média, desvio padrão, variância, coeficiente de variação e diferenças máximas e mínimas para cada uma das 3 componentes (x, y, e z). Possibilita igualmente a separação da observação em blocos de 10 intervalos para que a análise seja fracionada em intervalos mais reduzidos, possibilitando a análise temporal de variações mais significativas.

São utilizados dois recetores nos pontos de controlo MC09, MC10 ou MC11.

Quadro 1. Diferenças máximas e desvios padrão para os blocos horários.

Período	1 HORA	2 HORAS	4 HORAS	6 HORAS	12 HORAS	24 HORAS	GLOBAL
ΔE MÁX (m)	0.0058	0.0038	0.0054	0.0050	0.0038	0.0014	-0.0008
ΔN MÁX (m)	-0.0025	0.0028	0.0029	0.0027	0.0018	0.0010	-0.0004
ΔH MÁX (m)	-0.0073	0.0035	0.0040	-0.0051	0.0024	0.0017	-0.0010
DESVIO PADRÃO (m)	0.0033	0.0024	0.0025	0.0026	0.0016	0.0012	0.0010

Quadro 2. Coordenadas finais atribuídas à época inicial para o ponto de controlo MC10 no sistema de coordenadas WGS84 e UTM Datum Base SE. Desvios Padrão e coordenadas das campanhas.

Sistema de Coordenadas		1	2	3	FINAL	DESVIO PADRÃO
UTM (m)	E (m)	321394.6045	321394.6037	321394.6045	321394.6042	0.0005
	N (m)	3612822.1868	3612822.1886	3612822.1864	3612822.1873	0.0012
	H (m)	8.7265	8.7212	8.7243	8.7240	0.0027
	X (m)	5143668.5515	5143668.5461	5143668.5499	5143668.5492	0.0028
WGS84 (m)	Y (m)	-1563555.5499	-1563555.5491	-1563555.5494	-1563555.5495	0.0004
	Z (m)	3420597.5617	3420597.5603	3420597.5602	3420597.5607	0.0008

Quadro 3. Coordenadas para cada uma das épocas de controlo de Estabilidade Absoluta do Quebramar MC10. Coordenadas UTM Datum Base SE e respetivas variações para a época inicial de referência. Valores absolutos.

Época	E (m)	N (m)	H (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔH (m)
INICIAL	321394.6042	3612822.1873	8.7241			
20-MAI-10	321394.6036	3612822.1873	8.7229	0.0006	0.0000	0.0012
23-JUN-10	321394.6046	3612822.1891	8.7222	0.0004	0.0018	0.0019
21-JUL-10	321394.6043	3612822.1863	8.7245	0.0001	0.0010	0.0004
16-OUT-10	321394.6024	3612822.1875	8.7247	0.0018	0.0002	0.0006
26-NOV-10	321394.6035	3612822.1884	8.7260	0.0007	0.0011	0.0019
07-JAN-11	321394.6050	3612822.1894	8.7237	0.0008	0.0021	0.0004
22-MAR-11	321394.6042	3612822.1866	8.7255	0.0000	0.0007	0.0014
19-AGO-11	321394.6027	3612822.1878	8.7223	0.0015	0.0005	0.0018

Quadro 4. Variações planimétricas e altimétricas para o tetrápode 76.

Época	E (m)	N (m)	H (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔH (m)
INICIAL	321463.228	3612812.449	2.346			
23-JUN-10	321463.233	3612812.452	2.347	0.005	-0.003	-0.001
10-DEZ-10	321463.144	3612812.418	2.281	0.084	0.031	0.065
07-JAN-11	321463.135	3612812.415	2.270	0.093	0.035	0.076
22-MAR-11	321463.140	3612812.416	2.271	0.088	0.034	0.075

4.3. Controlo dos macro movimentos dos tetrápodes

Para o controlo dos macro movimentos dos tetrápodes, foi definida uma metodologia apoiada em técnicas clássicas de topografia. Uma vez que o acesso aos tetrápodes é limitado, foi necessário definir uma metodologia de trabalho capaz de medir as variações posicionais dos tetrápodes sem ser necessário aceder-lhes para fazer as medições.

Assim, as variações posicionais planimétricas e altimétricas foram realizadas através da medição de ângulos horizontais e ângulos verticais, respetivamente, entre dois pontos de coordenadas bem definidas, MC's, e os tetrápodes (Figuras 6 e 7).

A visibilidade entre os pontos de controlo e os tetrápodes é o requisito mínimo para que este tipo de controlo possa ser realizado.

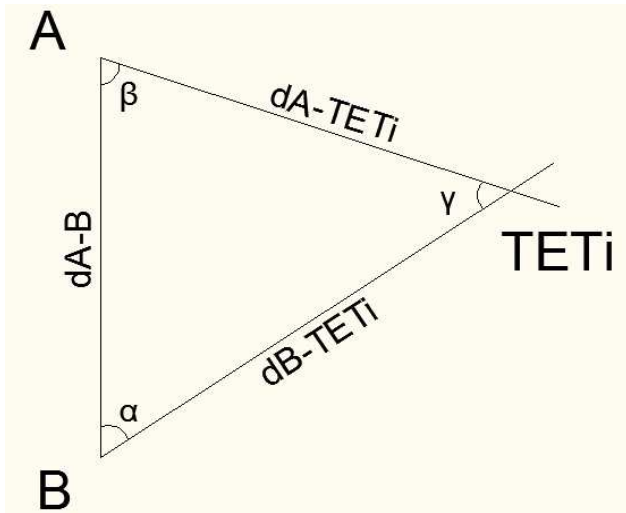


Figura 6. Medição de ângulos horizontais para a definição das variações planimétricas dos tetrápodes.

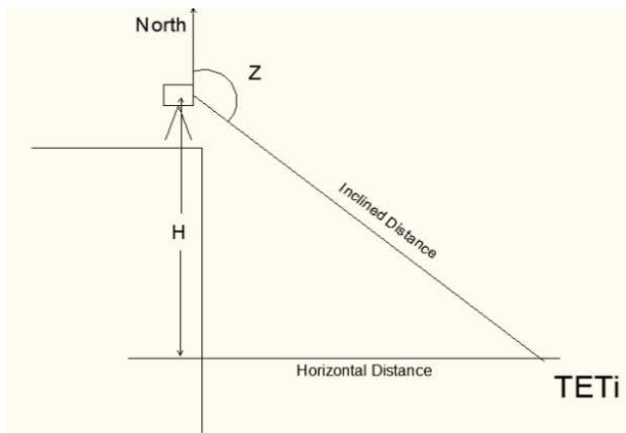


Figura 7. Medição de ângulos verticais para a definição das variações altimétricas dos tetrápodes.

4.4. Épocas iniciais

O controlo da atracção dos navios de cruzeiro é um tipo de controlo apoiado na análise individual de cada atracção, não sendo dependente da atracção anterior ou posterior. Em oposição, o controlo de estabilidade absoluta do quebramar e o controlo dos macro movimentos dos tetrápodes requerem a comparação entre diferentes épocas de controlo.

Assim, foi necessário definir épocas iniciais para permitir a comparação com as épocas subsequentes.

As épocas iniciais caracterizam-se pela tomada de conhecimento das condições à partida, considerando-as como referencial de comparação.

4.4.1. Controlo da estabilidade absoluta do quebramar

A época inicial do controlo de estabilidade absoluta do quebramar foi fixada a partir de 3 campanhas distintas, cada uma delas realizada na parte da manhã, tarde ou noite. Essas campanhas foram assim definidas para que fosse garantida que independentemente do período do dia em que as campanhas subsequentes de controlo fossem realizadas, o resultado era independente dessa escolha.

As coordenadas finais para cada ponto de controlo foi obtido pela média simples de cada período de observação. O Quadro 2 reporta-se às coordenadas obtidas para o ponto de controlo MC10.

Foi obtido igualmente para todos os outros pontos de controlo, coordenadas finais correspondentes à definição de época inicial.

4.4.2. Controlo dos macro movimentos dos tetrápodes

Para cada um dos tetrápodes foram realizadas medidas de ângulos horizontais e verticais definindo as suas coordenadas absolutas.

As suas coordenadas foram calculadas no sistema de coordenadas UTM Datum Base SE.

5. Resultados e Discussão

Foram realizadas as diferentes campanhas para cada um dos controlos programadas, distribuídos ao longo dos últimos 18 meses.

Os dados foram recolhidos, tratados e analisados possibilitando a interpretação dos mesmos.

Foram realizadas 8 campanhas de controlo de estabilidade Absoluta do quebramar, concluindo-se que para cada um dos pontos de controlo, não foram identificadas variações das suas coordenadas absolutas.

Conclui-se que a taxa de variação dos últimos 18 meses é inferior aos 7,5mm tomados como valor mínimo de referência, valor máximo esse tomado para os erros inerentes ao tipo de controlo adotado.

No quando 3 são apresentados os diferentes resultados para o ponto de controlo MC10. Conclui-se que apesar de serem evidentes as fraturas e instabilidades no corpo do quebramar, estas estão a evoluir lentamente, não evidenciando um cariz de urgência.

Para o controlo dos macro movimentos dos tetrápodes foram realizadas 4 épocas de controlo.

Em cada uma dessas épocas de controlo verificou-se que para cada um dos subconjuntos de tetrápodes existiam variações das posições de alguns deles.

Essas variações, como seriam de esperar, não ocorreram numa direcção privilegiada, isto é, uma vez que os tetrápodes se encontram encaixados entre eles, ocupando uma posição de estabilidade, quando estes saem da sua posição de equilíbrio oscilam em qualquer direcção até estabilizarem, de forma aleatória. As variações foram divididas em variações planimétricas e altimétricas.

O Quadro 4 apresenta as variações para o tetrápode 76.

Essas variações têm amplitudes significativas, variando de alguns centímetros até aos metros, concluindo-se que a acção marítima é bastante intensa sobre o manto exposto do quebramar, sendo um dos principais fatores responsável pelas ocorrências encontradas. Posteriormente, será utilizado o programa de simulação COBRAS-UC para comprovação da interação onda-estrutura.

As campanhas efetuadas para o controlo da atracção de navios de cruzeiro foram 6. Essas campanhas foram realizadas durante períodos de tempo, condições atmosféricas e navios de portes diferentes.

As Figuras 8 e 9 são dois dos resultados obtidos nas campanhas de controlo de atracção de navios de cruzeiro.

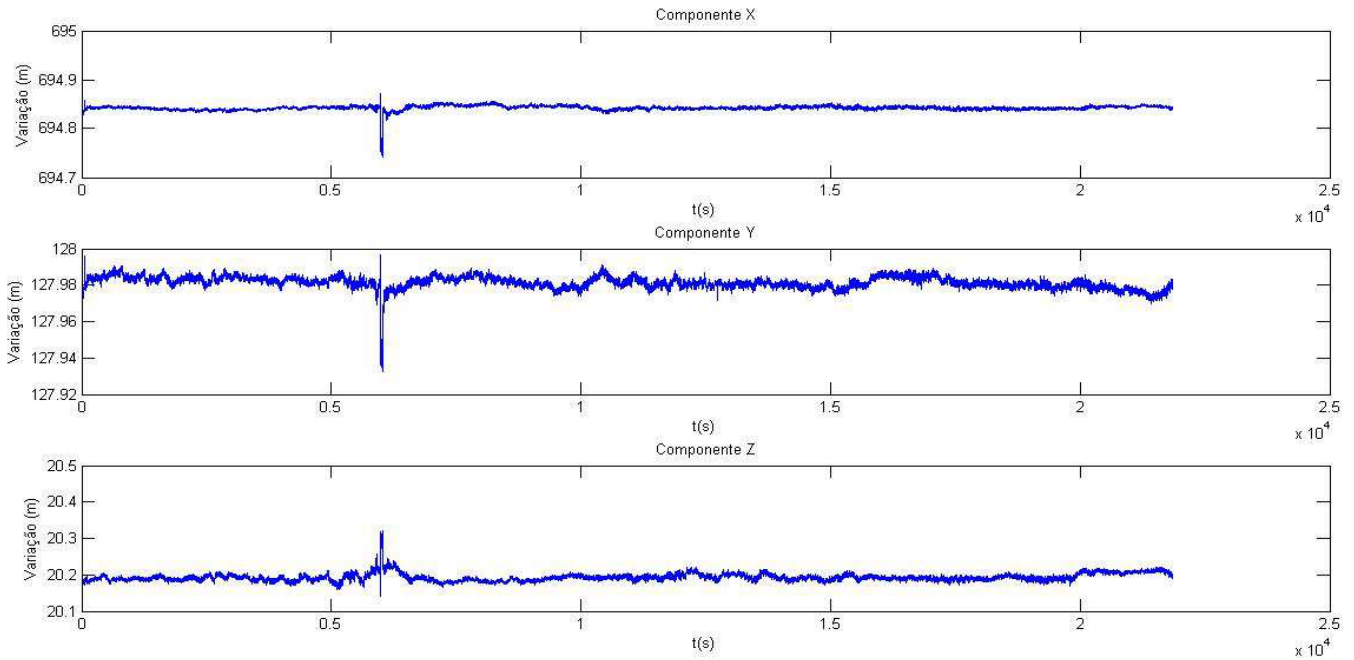


Figura 8. 4ª campanha de controlo de atracação de navios de cruzeiro. Perturbação na atracação.

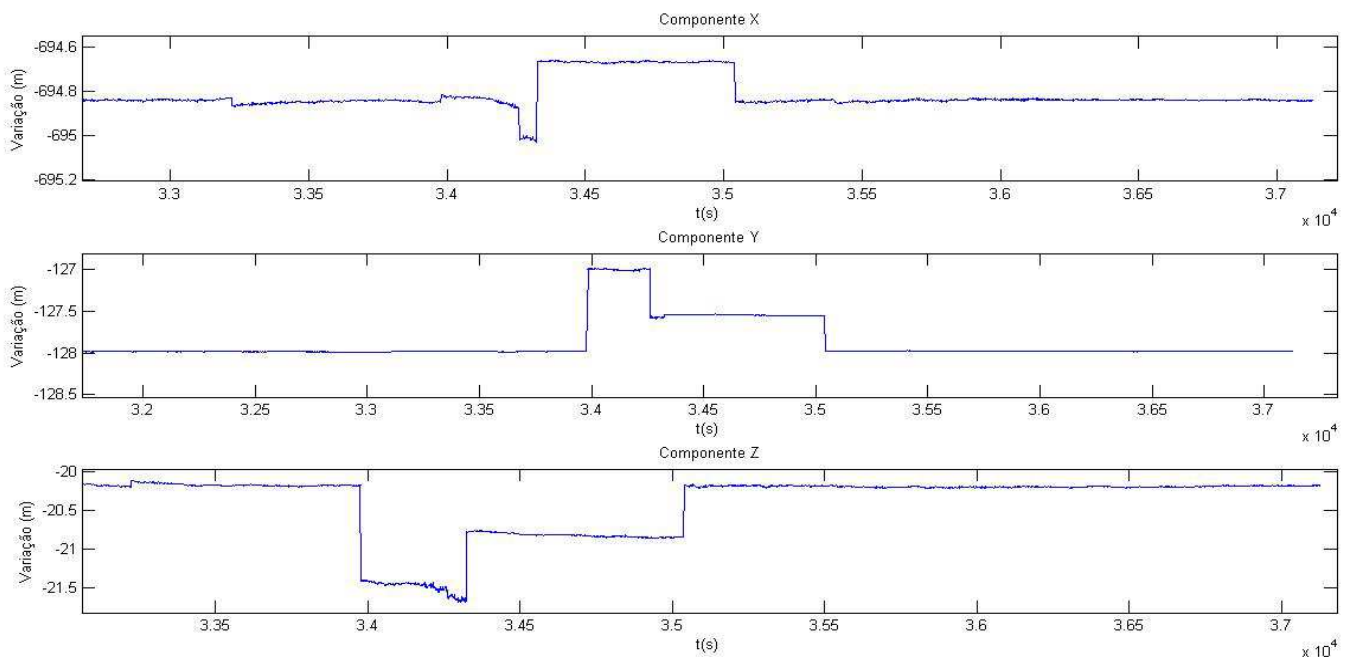


Figura 9. 5ª campanha de controlo de atracação de navios de cruzeiro. Perturbação na desatracação.

Como é ilustrado nas Figuras 8 e 9, verifica-se uma perturbação do sinal na atracação e na desatracação do navio de cruzeiro, respetivamente.

As perturbações correspondem exatamente aos períodos de aproximação e atracação do navio de cruzeiro (figura 8), bem como aos instantes de desatracação do navio de cruzeiro (figura 9).

Uma vez que essas perturbações ocorreram especificamente aquando da atracação e desatracação, é natural associa-las ao impacto que o quebramar absorveu em ambas as situações, no entanto, é necessário despistar para cada um dos casos a influência de fatores externos ao conjunto quebramar-navio de cruzeiro.

Em caso afirmativo, é substancialmente importante quantificar esse impacto na estabilidade absoluta do quebramar.

6. Conclusões

Considerando as campanhas realizadas e os resultados obtidos, podemos concluir que apesar das fragilidades evidenciadas pelo quebramar do porto do Funchal em vários pontos, este se encontra numa fase de evolução estável.

Verificou-se que a ondulação marítima é relativamente intensa provocando alterações nas estruturas de proteção do quebramar.

Futuramente serão analisados e quantificados esses impactos ao nível da estrutura submersa do quebramar através do modelo numérico COBRAS-UC, possibilitando a análise da interação onda estrutura.

Igualmente, serão realizadas mais campanhas de atracação de navios de cruzeiro, sendo que novos dados serão incorporados em futuras análises. À semelhança da aplicação COBRAS-UC, a análise da atracação de navios de cruzeiro servirá para esclarecer a estabilidade absoluta do quebramar do porto do Funchal.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos Portos da Madeira pela permissão de acesso ao local de estudo, bem como pelo apoio logístico e financeiro para a implementação da rede de monitorização, nas pessoas do Eng. Pedro Camacho, do Eng. Rui Lopes e da Dra. Alexandra Mendonça.

Os autores agradecem igualmente ao Instituto Geográfico Português pela cedência de dados da estação permanente do Funchal ao abrigo do Programa FIGIEE, à Secretaria do Equipamento Social da Região Autónoma da Madeira e à Direção Regional de Informação Geográfica pela colaboração no empréstimo dos equipamentos de campo e ao Prof. Rui Fernandes (UBI) e ao Eng. Nelson Pires (FCUP) pelo contributo neste trabalho.

Referências

- Grosso, A.D., Lanata, F., Pieracci, A. (2007). *Data analysis and interpretation from GPS monitoring of a breakwater*, 3rd International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure.
- Pilarczyk, K.W., Zeidler, R.B. (1996). *Offshore breakwaters and shore evolution control*. Taylor & Francis